

# Observacions antigues de la Lluna, el problema de la posició

Josep Batlló

Instituto Dom Luiz - Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa  
(IDL - CGUL)



Batlló, J. (2010). Observacions antigues de la Lluna, el problema de la posició. In: Ginard, A., Pons, G.X. i Vicens, D. (eds.). Història i Ciència: commemoració dels 40 anys de l'arribada de l'home a la Lluna. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 16; 13-26. SHNB - OAM - UIB. ISBN 978-84-15081-49-4.

**Resum:** La Lluna, l'astre més proper a la Terra i el seu únic satèl·lit natural, ha estat objecte permanent de l'atenció humana, des d'uns inicis on era objecte de culte fins al moment present, en què s'estudia seriosament la possibilitat de instal·lar-hi una base permanent. En aquest treball fem un repàs dels inicis del seu coneixement científic, centrant-nos en l'estudi del coneixement de la seva posició, des dels temps prehistòrics, passant per les aportacions fonamentals de la cultura mesopotàmica i grega i seguint històricament fins al present.

**Abstract:** *The Moon, the Earth nearest celestial corps and its unique natural satellite, has been object of continuous attention from the human being; from initial object of religious veneration to the present, when installation of a permanent settlement on is discussed. We devote the present study to review the knowledge of the Moon position in the sky, from observational and theoretical point of view, starting with the first prehistoric attempts, following with the progresses of the Mesopotamian and Greek cultures and sketching its evolution up to the present.*

## Introducció

És evident que el Sol i la Lluna són els dos astres més grans que es mouen al cel. A més, no ho fan simultàniament. Si el Sol marca el dia amb la seva presència regular, la Lluna, en canvi, varia regularment el moment de la seva aparició i el seu aspecte és canviant. No és estrany, doncs, que els humans, en els inicis del seu cavil·lar sobre el món que els envoltava, hi fixessin la seva atenció. Per tant, en aquest sentit les observacions sobre la Lluna es poden considerar tan antigues com la humanitat.

Però, molt més que confirmar que la humanitat ha observat el cel des de sempre i encara ho fa, i a més, moltes vegades, per plaer, com ho demostra el gran nombre d'associacions astronòmiques avui existents, aquí ens interessa més saber quan va començar a adquirir

coneixements sobre els moviments que hi observava. És a dir, quan va començar a ordenar les observacions, a formular teories sobre l'espectacle que s'oferia als seus ulls i a desenvolupar eines per predir part dels moviments observats que, com actualment sabem, mostren regularitats. Certament podem pensar que aquests primers intents d'explicació barrejaven conceptes de caire més aviat científic amb altres religiosos. És cert, de vell antuvi s'ha pensat que la Lluna influència el que succeeix a la Terra, i encara ara parlem de "llunàtics".

Però centrem-nos en el coneixement de la posició de la Lluna al cel. Precisament en aquesta capacitat, primer, de descobrir les regularitats dels moviments de la Lluna, del Sol, dels planetes i, en general, de tots els astres del cel i, segon, de formular previsions sobre els seus moviments futurs estan a la base del que en diríem "astronomia clàssica", que és aquella que estudia, sobretot, la posició i moviments dels astres. De fet, actualment encara es parla de "l'astronomia de posició" com una de les branques del saber astronòmic. I com veurem, si la Lluna ha estat, per motius obvis, un dels primers astres a ser estudiat també ha estat, pel que respecte al coneixement dels seus moviments al cel, i sense entrar per res en l'estudi de la seva geografia o composició, del que es parla en altres punts d'aquest llibre, un dels que ha posat més problemes als astrònoms. Veurem perquè en els següents apartats.

## Arqueoastronomia

Molt s'ha escrit sobre els inicis del saber astronòmic, el que anomenem arqueoastronomia. Era l'home prehistòric mer espectador del cel o ja acumulava coneixements sobre les variacions que hi observava? No és una pregunta fàcil de respondre i, de fet, la resposta pot presentar molts matisos depenent del que entenem per "coneixement".

Per una part, a les cultures (o precultures) antigues la Lluna no sols representa l'astre més brillant de la nit, sinó la possibilitat de veure-hi. Per tant, la possibilitat de moure's lliurement a les hores nocturnes. Aquest fet no se'ns fa gaire important a les cultures modernes, acostumades a l'energia elèctrica; però va ser fonamental fins a principis del segle XX. Per exemple, a la cultura inuit, dels esquimals del Nord de Canadà, trobem un culte a la Lluna amb representacions de la mateixa. I no és gens estrany, a les regions àrtiques o antàrtiques la Lluna ofereix l'única possibilitat de veure-hi durant les llargues nits d'hivern, en què el Sol no apareix durant mesos.

Remuntant-nos vers el passat, de fet, sabem que en el segon mil·lenni abans de Crist ja trobem cultures amb coneixements avançats sobre el moviment dels astres. De ben segur no es van generar d'un dia per l'altre. Aquests coneixements són la crist·lització d'uns sabers populars anteriors. Molt s'ha especulat sobre quant profunds eren els coneixements. Potser el cas més paradigmàtic és el monument megalític d'Stonehenge, al Regne Unit. Els seus orígens es remunten a més de 4000 anys, encara que el que coneixem actualment és fruit d'una evolució al llarg de més de 1000 anys. S'ha postulat que era un gran dispositiu per calcular l'ocurrència dels eclipsis, és a dir, les conjuncions i oposicions del Sol i la Lluna. Després d'una eufòria inicial sobre el descobriment de presumptes alineaments dels megàlits que el componen, que senyalarien diversos esdeveniments al cel (primeres aparicions d'estels durant l'any, etc.), estudis posteriors han anat rebaixant l'entusiasme (vegeu, per exemple, Crowe, 2001: 197-219). El principal problema és que Stonehenge és un monument totalment singular que no es pot comparar amb res semblant arreu del món. Aquesta singularitat és el que fa difícil la seva anàlisi. És ben cert que el seu eix principal apunta a la sortida del Sol el dia del solstici d'estiu i és difícil dubtar de la seva intencionalitat; però aquest és un coneixement que podem anomenar fàcil i que trobem repetit a molts llocs. En canvi, es fa molt difícil confirmar els complexos alineaments proposats per alguns investigadors. De fet, amb els nostres coneixements actuals, ens és fàcil, a partir de programes numèrics, buscar aleatòriament totes les alineacions possibles i, ben cert, en trobem moltes. Per tant, la conclusió seria que a la prehistòria ja existien coneixements sobre l'estat del firmament, però no molt refinats.

De fet, els coneixements astronòmics no eren els mateixos en regions diferents i es relacionaven, evidentment, amb l'evolució i diferents necessitats de les cultures (és el cas ja mencionat de la importància de la Lluna per les cultures esquimals). Queda força clar, això sí, que cap a l'any 1500 aC ja existia un consens general sobre l'aspecte nocturn del cel, que es considerava format per un conjunt d'estels fixos (les posicions relatives entre ells no varien), el firmament, que girava sobre els nostres caps amb la Lluna i cinc punts més amb moviment propi, que són els cinc planetes clàssics (Mercuri, Venus, Mart, Júpiter i Saturn) compartit per diverses cultures a tot el món (Xina, pròxim orient, Amèrica, ...). De tota manera, per exemple, una lectura atenta de l'Odissea deixa entreveure que Homer no associava "l'estel del matí" i "l'estel del vespre" amb Venus, considerant-los sense relació. Encara que també és cert que el presumpte desconeixement d'Homer no vol dir que el fet no fos conegut per altres persones contemporànies més dedicades al tema astronòmic.

## La Lluna i la mesura del temps

No hi ha gaire dubte que una de les primeres utilitats trobades a la regularitat del dia i la nit és establir una unitat ben clara de mesura. I també, és clar, ho és l'any per la successió de les estacions i pel cicle anual de la vegetació. Però la diferència de durada entre ambdues és molt gran (si considerem que un any són uns 365 dies podem considerar que les mesures estan separades per més de dos ordres de magnitud). Una mesura entremig era ben necessària i el cicle de les fases de la Lluna oferia la millor solució a les primeres cultures que van desenvolupar-se. Així la humanitat va començar a comptar en mesos lunars, és a dir, en períodes de temps corresponents a la duració del cicle complet de les fases de la Lluna.

Malauradament, la solució presenta problemes. Si bé el moviment de tots els planetes i també la Lluna presenta regularitats aquestes no presenten una relació en números senzills. Com bé sabem un any són 365,24 dies aproximadament, un mes lunar 29,53 dies i tampoc existeix una relació exacta entre l'any i el mes lunar (1 any són 12,37 mesos lunars). No poden representar, doncs, la relació de les seves duracions per qualsevol quocient de números sencers. És dir, la seva relació no s'estableix en termes de números racionals. Per acabar-ho d'adobar, aquests nombres no són totalment exactes, sinó que presenten oscil·lacions al voltant dels valors mitjans. Encara més, si comptem els mesos lunars des del moment que apareix la lluna nova al capvespre, és a dir, ajustant els mesos a un nombre sencer de dies, ens trobarem amb uns mesos de 29 i altres de 30 dies. El resultat és que l'ajust de les diverses unitats de temps naturals es fa difícil i d'aquí la complexitat encara present en els nostres calendaris, amb mesos de 28, 30 i 31 dies i anys regulars i de traspàs.

Però a falta de res millor totes les civilitzacions antigues van comptar, si més no al principi, amb mesos lunars. Els primers a abandonar el mes lunar van ser els egipcis. És bastant natural donat que era una civilització que depenia completament d'un fenomen de cicle anual, la crescuda del Nil que, clarament, no depenia de la Lluna.

Atès que, respecte a la duració d'un any, dotze mesos lunars queden curts i tretze llargs, quasi totes les cultures van desenvolupar calendaris amb anys variables de 12 i 13 mesos de forma que es mantingués una coincidència aproximada de les dates amb les estacions meteorològiques. Aquest tipus de calendaris són els que anomenem lunisolars, donat que es basen en mesos lunars; però estan modulats per la llargada de l'any solar. Són d'aquest tipus el calendari xinès i l'hebreu i també ho és el calendari religiós cristià. La festa de Pasqua és variable perquè la seva data es fixa en relació a un calendari lunisolar. També ho van ser el babiloni, antic grec, antic romà i, de fet, pràcticament tots els calendaris antics.

Una excepció als anys amb nombre variable de mesos lunars és el calendari musulmà, en vigor a l'Àrabia Saudita i per tot el relacionat amb les festivitats religioses musulmanes, que es cenneix estrictament a anys de 12 mesos lunars i on es produeix, per tant, un notable

desfasament entre els anys civils amb aquest calendari i el cicle solar. Així, el mes del ramadà va variant d'un any per l'altre del nostre calendari "gregorià".

Dintre d'aquest panorama, un dels grans descobriments astronòmics de l'antiguitat va ser l'anomenat cicle de Metó, que no és més que la confirmació de que la duració de 235 mesos lunars és pràcticament igual a 19 anys solars tròpics (la diferència total només és d'unes dues hores). Així, per ajustar el cicle lunar i el solar necessitem 12 anys lunars de 12 mesos i 7 de 13 mesos. Per tant, ja sabem amb anticipació quantes intercalacions haurem de fer i, si volem, com així es va fer a l'antiguitat, programar-les anticipadament. Aquest és, doncs, un exemple de coneixement astronòmic aplicat a l'organització d'una societat i que demostra un grau ja elevat de precisió en la mesura de la posició dels astres.

## Els eclipsis

Un dels grans fenòmens de la naturalesa són els eclipsis. L'ocultació de la Lluna o la espectacularíssima ocultació del Sol van impressionar a les civilitzacions antigues i a les no tan antigues. Recordem aquí el gran esdeveniment que va ser ara fa 105 anys veure's un eclipsi total de Sol des de Mallorca i que cent anys més tard, el 2005, encara ens vam reunir per commemorar-ho (Amengual *et al.*, 2005). Així, els intents de predir el moment en què es produeixen els eclipsis marquen una bona part de l'evolució de l'astronomia. Però predir els eclipsis no és fàcil. Cal un coneixement força acurat dels moviments del Sol i de la Lluna. En principi, els eclipsis de Lluna es poden produir quan aquesta està en oposició al Sol, és a dir, al voltant de les llunes plenes. Al contrari, els eclipsis de Sol només es produeixen quan la Lluna es troba en conjunció amb el Sol (llunes noves).

Però per preveure un eclipsi de Lluna no sols necessitem informació de la seva posició relativa respecte a la Terra i al Sol. També necessitem informació sobre la inclinació actual de la seva òrbita respecte al pla de l'eclíptica per saber si la seva trajectòria tallarà l'ombra de la Terra. Per tant, estem parlant una altra vegada d'uns coneixements astronòmics força acurats. Com veurem a l'apartat següent, els caldeus (o babilonis) són el primer poble del que sabem amb certesa que van disposar dels coneixements i eines per calcular-los.

La predicció dels eclipsis de Sol és encara més complicada perquè, degut a que l'ombra de la Lluna només afecta una porció petita de la superfície terrestre, la precisió amb què necessitem conèixer la posició del Sol i la Lluna respecte a la Terra ha de ser encara molt més acurada. Per tant la previsió correcta dels eclipsis de Sol és molt més tardana que la dels eclipsis de Lluna.

La descripció més antiga d'un eclipsi de Sol de què disposem ve de l'antiga Xina, normalment s'identifica com l'eclipsi ocorregut el 22 d'octubre de l'any 2134 aC, encara que no és segur i la data pot variar d'uns dos-cents anys. Sigui com sigui, fa ja 4000 anys. Però com ja hem comentat, no és el mateix una descripció (per tant, una observació) que una predicció. També disposem d'informacions confirmades d'un eclipsi observat a la ciutat caldea d'Ugarit, a l'actual Síria, el dia 3 de maig de 1375 aC.

Ja a l'època hel·lenística, als voltants de la nostra era, les observacions i els models que descrivien el moviment dels astres havien millorat de forma que podien calcular-se els eclipsis de Lluna amb una precisió de poques hores (volem dir que l'eclipsi començava, com a molt, unes poques hores abans o després del que s'havia calculat) i les zones afectades pels eclipsis de Sol amb una precisió de quasi un grau de meridià (poc més de 100 km). En aquest últim cas, encara que la millora de la precisió era espectacular respecte als primers pronòstics, que només podien dir si en aquell dia podia produir-se un eclipsi, els resultats continuaven sent decebedors, ja que els errors involucrats significaven que la predicció d'un eclipsi en un determinat lloc podia no complir-se. La predicció dels eclipsis solars amb una precisió semblant a l'actual va haver d'esperar fins als treballs de Cassini a mitjans del segle XVII (North, 1994: 113).

## Les observacions de la posició de la Lluna

Com ja hem dit, la confirmació del cicle de Metó significa una observació acurada de la posició de la Lluna respecte al Sol i als altres planetes i que pot situar-se en algun moment anterior al segle V aC. Però, de fet, la mesura i posterior predicció mitjançant el càlcul de la posició de la Lluna ha estat un dels problemes principals de l'astronomia fins ben entrat el segle XX. Encara a finals del segle XIX Berry (1961: 372) afirmava que els dos problemes principals que afrontava l'astronomia de posició eren la descripció del moviment de Mercuri i el de la Lluna. Si del primer sabem ara que era un problema inabastable fins a la formulació de la teoria de la relativitat, del segon pot estranyar-nos la seva persistència, essent un problema que troba la seva solució dins de l'àmbit de la mecànica celeste clàssica. També l'enciclopèdia "Espasa", en la seva entrada "Luna", publicada a la segona dècada del segle XX, diu "la teoria matemàtica del moviment de la Lluna no forma encara un cos complet i ben definit de doctrina, sinó que consisteix en una sèrie de recerques, algunes de les quals utilitzen dades i fenòmens de fa vint segles". (vol. XXXI: 741). Com veurem, el fet que la Lluna és, amb molta diferència, el cos celest més proper a la Terra i les especials circumstàncies de les seves dimensions i proporcions respecte a la Terra i el Sol fan que la interpretació del seu moviment sigui realment complicat quan es mesura amb precisió.

Tornant als inicis de les observacions de la Lluna, i com ja hem dit, existeixen moltes hipòtesis sobre els possibles coneixements astronòmics a la prehistòria; però totes de difícil confirmació. El que sabem de cert és que les primeres observacions regulars i metòdiques i, el que és més important, els primers càlculs dels moviments dels astres que permetien predir la seva posició en el futur podem atribuir-los als caldeus. A Babilònia, des del segle VIII aC trobem taules astronòmiques que permeten calcular-los.

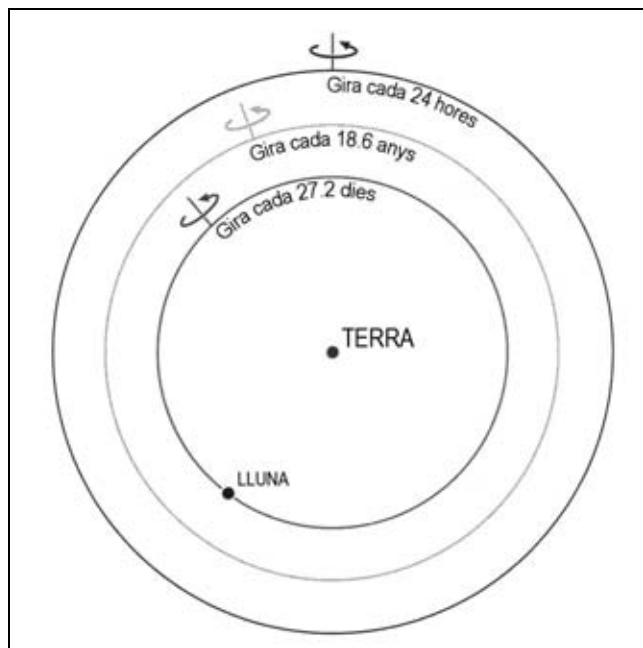
L'origen de la confecció d'aquestes taules són les preocupacions astrològiques. Els esdeveniments extraordinaris es consideraven "signes" o "premonicions" que s'havien d'interpretar com anuncis o advertències del futur. Els esdeveniments extraordinaris poden produir-se al cel o a la terra (inundacions, erupcions volcàniques, eclipsis, cometes, ...) i entre els primers hi trobem les conjuncions o oposicions dels diferents planetes, eclipsis, etc. Com que aquests esdeveniments astronòmics es repeteixen periòdicament s'entén la possibilitat de preveure'ls mitjançant el seu estudi.

No podem estendre'ns amb detall en la descripció d'aquests orígens (cf., per exemple, Neugebauer, 1969). El fet és que, cap al 900 aC trobem ja, a la civilització mesopotàmica, una col·lecció de textos amb forma molt definitiva coneguda com els *enumes* (perquè sempre comencen amb la forma *Enuma Anu Enlil*). Està formada per unes 70 taules de fang amb 7000 avisos o pronòstics. Els experts en la cultura babilònica, que han estudiat l'obra, ens diuen que l'astre més citat és la Lluna.

Ens queda clar també que els escribes dels *enumes* enregistraven de forma regular, des del segle VIII aC (i probablement molt abans), les posicions dels astres. Ho sabem perquè també es conserven taules amb les observacions i altres que permeten calcular les posicions dels astres en un futur (és a dir, que expliquen com realitzar els càlculs a partir de les observacions). De fet, la seva estructura és, en el fons, molt semblant als actuals almanacs astronòmics. Estan organitzades de forma que pot buscar-se cronològicament la posició futura d'un astre en determinades dates (normalment cada mes lunar) i les posicions intermèdies s'han de calcular mitjançant interpolació.

La singularitat del sistema babilònic és que es tracta d'un sistema purament aritmètic i numèric, que utilitza les sèries aritmètiques per presentar els resultats, sense cap referència geomètrica. En l'actualitat ens sobte l'absència de qualsevol recurs a la geometria. Però hem de pensar que el desenvolupament de la geometria com una eina de càlcul i de resolució de problemes és, molt principalment, una herència de la cultura grega posterior. En canvi, els caldeus van desenvolupar un sistema de numeració sexagesimal, bàsicament similar al sistema decimal que usem actualment (les excel·lències del sistema sexagesimal queden demostrades

en la seva vigència encara avui, 3500 anys més tard de la seva aparició, en la mesura dels angles i encara en quasi tots els treballs relacionats amb l'astronomia de posició). Aquest sistema els va permetre realitzar càlculs altrament molt difícils i, entre altres coses, van aplicar-lo al càlcul de la posició dels cossos celestes sense necessitat de formular cap teoria “geomètrica” respecte a la seva disposició. Per tant representa un coneixement totalment empíric.



**Figura 1:** Model d'Eudoxe de Cnidos per descriure el moviment de Lluna. Tres esferes concèntriques giren amb diferents velocitats i orientacions i així es reproduïx aproximadament el seu moviment durant un cicle de Metó complet.

*Figure 1: Model of Eudoxius of Cnidus describing Moon motion. Three concentric spheres rotating with different speeds and axis directions reproduce its motion during a complete Meton cycle.*

Mitjançant tots aquests recursos els babilonis també van estar en condicions de calcular les ocurrències dels eclipsis de Lluna amb una precisió d'hores respecte a l'ocurrència real. No així els de Sol, dels que podien predir solament els dies en què podien ocórrer; però mai el lloc.

A la Grècia antiga l'astronomia va tenir un desenvolupament paral·lel i diferent al de Mesopotàmia. Les primeres aproximacions que coneixem van dedicar molts més esforços a postular models del cosmos que a calcular els seus moviments acuradament. Pel que respecte a la Lluna citarem com a figures representatives, en primer lloc a Eudoxe de Cnidos (ca 408 – 355 aC) que va ser el primer a formular un model geomètric en esferes concèntriques pel moviment dels planetes. En concret, utilitzà un model de tres esferes per la Lluna. Si bé el model és coherent, només reproduïx aproximadament el moviment real de l'astre (Fig. 1). El contacte de l'astronomia grega, més teoritzant, amb la caldea, més observacional i de precisió molt més elevada va ser molt enriquidor. Els models grecs de base geomètrica, units amb les eines de càlcul i les observacions de Mesopotàmia, van perfeccionar-se i van tornar-se molt més predictius. Encara que els primers contactes són molt anteriors, queda clar que a partir de la conquesta de Babilònia per Alexandre el Gran el coneixement astronòmic de Mesopotàmia va circular lliurement en tot el món hel·lenístic.

Just abans d'aquest contacte directe entre la cultura mesopotàmica i la grega trobem la figura d'Aristòtil (384 – 322 aC). Si bé la seva obra no té una influència directa sobre el coneixement de la Lluna, el seu pensament sobre el cosmos resulta fonamental en la nostra cultura. En els seus escrits divideix l'univers en dos espais diferents, el sublunar i el supralunar. Per damunt de la Lluna (inclosa) l'espai està format per l'èter, no sofreix corrupció i és etern. Per sota el nostre món està format pels quatre elements clàssics (foc, aire, aigua i terra) i està subjecte al canvi i la corrupció. Aquest cosmos (geocèntric) va considerar-se, a l'Europa occidental, com la interpretació correcta de l'univers que habitem des dels inicis de l'edat mitjana fins al renaixement. Per tant durant un període de més de mil anys i resultant la teoria que més temps s'ha mantingut.

En aquest context el següent pensador amb importància pel que respecte als estudis sobre la Lluna és Aristarc de Samos (ca 310 – 260 aC). Va ser el primer a intentar calcular les dimensions relatives de Terra, Sol i Lluna i a calcular-ne les distàncies relatives. Va presentar els seus resultats en una obra titulada “Sobre les mides i les distàncies del Sol i la Lluna” (podeu consultar una edició en castellà, Aristarco, 2007). Si el seu càlcul de la distància Sol-Terra va distar molt de ser encertat (una apreciació correcta tardaria encara quasi dos mil anys a arribar) degut als errors de mesura, va donar una distància molt aproximada de la distància de la Terra a la Lluna. Va calcular que el radi de la Terra és quasi tres vegades el de la Lluna i que la distància Terra-Lluna és unes 60 vegades el radi de la Terra. Per tant, uns resultats acurats (trobareu una valoració de l’obra d’Aristarc a Massa, 2009).

Una altra contribució important al coneixement sobre la posició de la Lluna va ser deguda a Hiparc de Nicea (ca 190 – 120 aC). Pel poc que coneixem, Hiparc va ser un astrònom que va combinar els aspectes teoritzadors d’origen grec amb un coneixement profund dels mètodes i precisió mesopotàmics. Per això, les seves observacions encara són útils avui. Va elaborar un nou model per explicar la posició de la Lluna on es valia del recurs anomenat excèntrica (vegeu Crowe, 2001; o també Evans, 1998, per una explicació d’aquest terme). També va calcular les mesures relatives del Sol i la Lluna i les seves distàncies a partir d’observacions dels eclipsis.

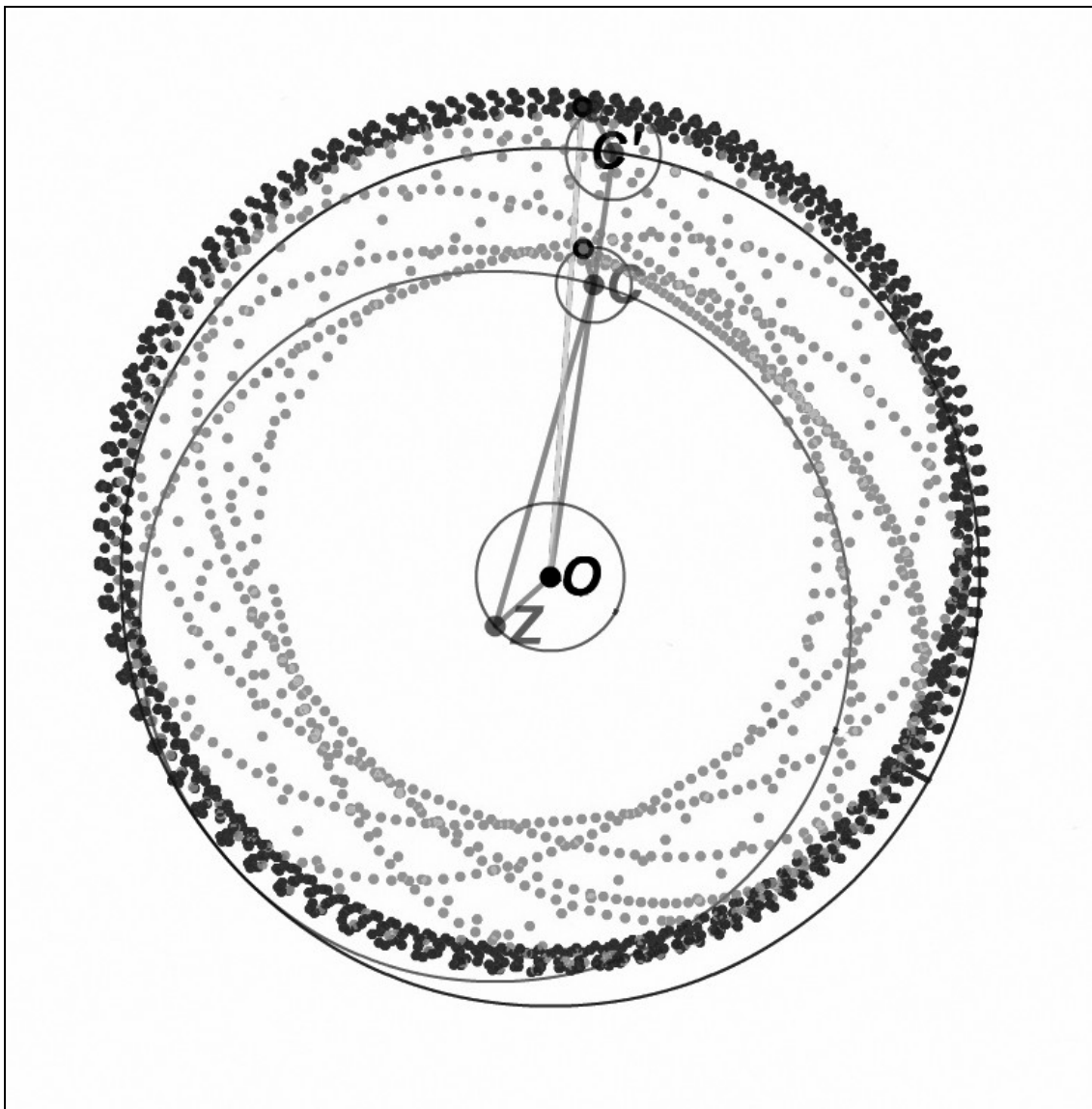
Per acabar la nostra visió del món hel·lènic i la Lluna parlarem de Ptolemeu (ca 85 – 165 dC) ja a la nostra era. Ptolemeu és l’autor de l’Almagest, una obra magna que resum tot el saber astronòmic de l’època (cal dir, però, que l’Almagest és un llibre de difícil lectura i no existeix cap edició en català o castellà; els interessats podeu consultar una de les últimes edicions angleses, Ptolemy’s, 1984). La qualitat de l’obra crea un problema als historiadors perquè des del moment en què va aparèixer va eclipsar qualsevol treball anterior i, en una època en què no hi havia impremta, les obres dels seus predecessors van deixar de copiar-se i s’han perdut definitivament, fent-se difícil seguir l’evolució dels estudis astronòmics anteriors a l’Almagest. De fet, si sabem de la seva existència i dels seus autors és, en alguns casos, per les mateixes cites que Ptolemeu en fa a la seva obra. Del nostre interès és saber que dedica tot el llibre IV del seu tractat a descriure el moviment de la Lluna. Per fer-ho (dintre del sistema geocèntric), utilitza un sistema complicat (vegeu Crowe, 2001: 44-47, per una descripció acurada), compost d’epicles, deferents, equants i totes les altres eines geomètriques desenvolupades per l’astronomia grega en cinc segles. Amb totes aquestes eines pot descriure el que anomenem moviment d’evacció de Lluna, que ell mateix va descobrir, i que és degut a la posició de la Lluna i longitud respecte al Sol i que l’aparta d’un moviment circular uniforme al voltant de la Terra. El resultat final és que el seu model permet calcular la posició de la Lluna al cel en qualsevol moment i amb una precisió propera al mig grau d’arc; una precisió realment considerable i que ens mostra com havia progressat l’astronomia. Per contra, el seu model implica que la distància de la Lluna a la Terra varia entre 65 i 34 vegades el radi d’aquesta i, per tant, no s’ajusta gens a la realitat observada.

## De l’època clàssica al renaixement

La fi de l’imperi romà va significar una època de poc progrés (i fins i tot retrocés) en els coneixements astronòmics. Realment, en un període de més de mil anys no hi haurà cap novetat realment important en el sistema celeste descrit per Ptolemeu, només petites millores i correccions.

En aquest període cal destacar la ciència àrab. Va ser la seva cultura la que va rescatar les obres de Ptolemeu, que havien quedat oblidades a l’occident europeu. Donat que la religió musulmana prescriu les oracions a hores ben determinades i a l’època no hi havia rellotges, la determinació de l’hora a partir de les mesures astronòmiques esdevenia fonamental. També les mesures astronòmiques ajudaven a orientar les mesquites cap a la Meca i, d’interès pel tema que tractem aquí, l’inici del mes del Ramadà coincideix amb la lluna nova. En concret, s’inicia el

capvespre en què es veu per primera vegada, a la posta del Sol, el creixent de la Lluna. Per això els astrònoms àrabs van dedicar molts esforços per identificar correctament el moment de la lluna nova i la seva visibilitat.



**Figura 2:** Comparació dels models que descriuen el moviment de la Lluna de Ptolemeu (gris clar) i d'al-Shatir (gris fosc). Per a Ptolemeu la Lluna és el petit punt que gira al voltant de C i per a al-Shatir el punt que gira al voltant de C'. Com es veu, el model d'al-Shatir ofereix un moviment més regular que s'apropa més al resultat de les observacions (generat a partir de les animacions proposades per Duke, 2004, i que poden trobar-se a <http://people.sc.fsu.edu/~dduke/models.htm>).

**Figure 2:** Comparison of the models that describe the motion of the Moon by of Ptolemy (light gray) and al-Shatir (dark gray). For Ptolemy the moon is the small dot that rotates around C and for al-Shatir the point rotating around C'. As seen, the model of al-Shatir offers more regular movement closer to the result of the observations (generated from the animations proposed by Duke, 2004, and which can be found at <http://people.sc.fsu.edu/~dduke/models.htm>).

Pel que respecte a les teories sobre el moviment de la Lluna ens cal mencionar als astrònoms Nàssir-ad-Din at-Tussí i Ibn al-Shatir (1304-1375). El primer va desenvolupar noves eines geomètriques que permetien eliminar l'equant en el càlcul de les òrbites dels planetes i el segon va aplicar-ho a estudiar el moviment de la Lluna. Si bé els resultats no introduïen millores respecte al sistema ptolemaic en la determinació de la posició de la Lluna al cel si ho feien



respecte a la seva distància a la Terra, millorant manifestament el sistema anterior. A la Fig. 2 podeu veure una comparació del model de Ptolemeu amb el proposat per al-Shatir on es veu clarament que en aquest últim la distància a la Terra es manté molt més estable.

Ja sabem que a partir de la traducció de les obres àrabs, realitzades principalment a la península Ibèrica, el coneixement de la cultura clàssica, enriquida amb les aportacions dels filòsofs àrabs, va retornar poc a poc a l'Europa occidental. Si bé això suposà una recuperació del sistema astronòmic ptolemaic i del coneixement més precís de la posició dels astres no aportà gairebé novetats al que ja era conegut. Un renovellat floriment de l'astrologia a la baixa edat mitjana portà a una més gran difusió de l'astronomia de posició, necessària per l'elaboració d'horòscops i a una popularització que queda reflectida amb la publicació de *Llunaris* (els reis i nobles podien permetre's el luxe de fer-se elaborar horòscops personals; però la gent menys benestant havia de conformar-se amb textos més generalistes, de forma no gaire diferent, el cap i a la fi, dels horòscops avui encara inserits als diaris i altres publicacions), que donaven indicacions sobre l'evolució de diferents aspectes al llarg de l'any, i acostumaven a lligar-les amb les fases de la Lluna (fenomen fàcilment observable per tothom) i d'aquí el seu nom. Conservem magnífics exemples d'aquest tipus de literatura escrits en català com el *Llunari* de Bernat de Granollacs (ca 1485) que va traduir-se a diferents llengües i va tenir fins a 90 edicions ja impreses (Cifuentes, 2005).

Als inicis del Renaixement trobem l'obra de Nicolau Copèrnic (1473-1543), primer postulador modern de l'heliocentrisme. Aquest dedica el llibre IV del seu *De Revolutionibus* als moviments de la Lluna (podeu llegir-lo en català, Copèrnic, 2000). La Lluna, fins llavors un planeta més, es converteix en un satèl·lit de la Terra, l'únic satèl·lit llavors conegut en tot el sistema Solar, encara que no per molt temps, perquè l'any 1609 Galileu anunciaria el seu descobriment dels satèl·lits de Júpiter. Tot i així, cal notar que en el seu moment el canvi de posició de la Lluna, de planeta a satèl·lit, encara que va passar més desapercebut, era tant radical com el del Sol. De fet, opositors al sistema heliocèntric de Copèrnic també esgrimien la singularitat de la posició de la Lluna com una raó per negar-lo.

Si el canvi conceptual de Copèrnic no va aportar gran cosa pel que respecte a la mesura de la posició de la Lluna al cel, no va haver d'esperar-se gaire perquè això es produís. Després de Copèrnic, ja en ple Renaixement, Tycho Brahe (1546-1601) millorarà molt les observacions. Per primera vegada arriba a precisions dels 10 minuts d'arc i això li permet descobrir irregularitats del moviment de la Lluna fins llavors desconegudes, l'anomenada "variació", i que s'aparten dels models establerts (cf. Berry, 1961: 143-144). Poc després, Galileu, valent-se ja d'un telescopi, postula i descobreix les anomenades libracions de la Lluna.

## Els instruments d'observació

Abans de seguir endavant amb l'evolució del coneixement del moviment de la Lluna fem un parèntesi per parlar de com s'observava fins a l'aparició del telescopi. Des de l'antiguitat fins a l'aplicació del telescopi a l'observació astronòmica per Galileu la mesura de la posició dels astres es feia a ull nu. Volem dir, amb això, sense cap dispositiu que permetés millorar la visió del cel (temps d'observació, contrast, augment, etc.); però no volem dir sense cap instrument que permetés millorar la precisió de l'observació.

El primer instrument conegut va ser el gnòmon. Si bé pot ser que ja s'utilitzés per les cultures prehistòriques, el seu ús regular i documentat és de l'època caldea. El següent instrument a considerar és el "polos" i la seva evolució, l'escafè (del llatí *scaphe*), una mena de rellotge solar semiesfèric i amb el gnòmon en posició horitzontal (veure una descripció a Pedersen and Phil, 1974). Aquest és útil, sobre tot, per estudiar el moviment del Sol (Fig. 3); però també pot aplicar-se per estudiar el moviment de la Lluna, sobretot en les fases de màxima lluminositat de l'astre. El quadrant és el següent instrument que podem considerar. Permetia l'observació directa de l'alçada de qualsevol astre en qualsevol moment i direcció. Tots aquests

instruments; però, tenien una precisió que no superava el mig grau d'angle. Ja més avançat i posterior; però possiblement conegut a l'època hel·lenística, és el triquetrum.



**Figura 3:** Escafè trobat a les excavacions de la ciutat hel·lenística de Ai Khanoum, a l'actual Afganistan, que pot datar-se entre el segle III i II aC i avui exposat al museu Guimet de París.

**Figure 3:** Sun dial found in excavations of the Hellenistic city of Ai Khanoum, now in the Afghanistan, which can be dated between the third and second century BC and now exhibited at the Guimet Museum in Paris.

Des de l'antiguitat es van intentar desenvolupar instruments més grans dels habituals, amb dimensions pensades perquè els utilitzés una sola persona. La idea d'augmentar les dimensions sorgeix perquè si s'augmenten les longituds dels elements de mesura dels instruments el resultat hauria de ser una millor precisió. Però contra aquesta idea juga el fet que l'augment de les dimensions provoca esforços i deformacions dels materials de construcció que introdueixen noves pertorbacions en la mesura. Per tant, problemes de caire tècnic que impedièren un augment de la precisió. Va haver d'esperar-se al progrés de certs elements tècnics (l'habilitat de fabricar instruments amb aliatges lleugeres i estables, la millora de la precisió en el gravat dels regles angulars, etc.) per augmentar la precisió d'aquests instruments. I aquest no va començar a produir-se fins ben entrat el segle XVI. De tota manera, existeixen dubtes raonables

sobre on van arribar les capacitats tècniques dels antics. Enigmes com el posat per l'anomenat enginy d'Antikitera, un possible calculador mecànic de les posicions dels astres, ens fa pensar si a l'època hel·lenística no va existir una tecnologia molt més avançada del que fins ara pensem i que, com altres elements de la cultura grecoromana, es va perdre en els segles posteriors de l'edat mitjana.

## La posició després de Newton

Tornant al fil de la nostra història, el coneixement i estudi de la posició de la Lluna, arribem a una fita importantíssima que se situa al final del segle XVII. La mecànica d'Isaac Newton (1643-1727), postulada en la seva obra els *Principia* (podeu trobar-ne diverses edicions en castellà, p. e., Newton, 2002) va suposar un punt i a part en la formulació dels moviments dels astres. Si fins aquell moment tots els càlculs es basaven en principis cinemàtics i fórmules empíriques, ara existia un principi bàsic (la força de la gravitació) que permetia formular tots els problemes de la mateixa manera. Era el triomf de la dinàmica, que donava uns fonaments teòrics als moviments observats i aplicada a l'espai és el que coneixem encara ara com a mecànica celeste.

En concret, Newton va atacar el problema de la gravitació i la Lluna molt aviat, ja l'any 1665; però no era un problema gens fàcil. Així que els primers resultats no van ser molt encoratjadors i Newton va retornar a aquest problema en diverses ocasions fins que va trobar la solució encabida dintre de la mecànica general presentada als *Principia*.

El tercer llibre dels *Principia* està dedicat al sistema del món, és dir, aplica a les circumstàncies actuals del sistema solar tota la teoria desenvolupada als dos llibres anteriors. Dedicar pàgines a descriure el moviment de la Lluna segons la nova teoria gravitatòria i ja veu clarament que el moviment del sistema Terra-Lluna ve pertorbat pel Sol. La teoria de Newton explica la precessió del equinoccis i les marees. De tota manera, Newton només va explicar aquests fenòmens qualitativament. També a partir de les marees va intentar mesurar la massa de la Lluna respecte al Sol (el resultat va ser el doble del que ara sabem). I encara que mancades de precisió, l'explicació de les marees i les mesures de la massa de la Lluna i altres planetes són novetats absolutes que hem d'atribuir a Newton i valorar-les pel progrés dels coneixements que suposen i no per la qualitat absoluta dels resultats numèrics, simplement pertorbats per la manca de precisió de les mesures de que disposava.

L'estudi de les bases del moviment de la Lluna que Newton proposa en els seus *Principia* és el que des de llavors s'ha conegut com "teoria de la Lluna" i que és un problema que ha estat atacat per molts astrònoms fins ben entrat el segle XX.

Si entrem més en detall en aquest tema, el problema fonamental que presenta l'estudi del moviment de la Lluna mitjançant la mecànica clàssica és que no es pot simplificar, en primera instància, al moviment de dos cossos, un respecte a l'altre (com és el cas Sol-Terra, Sol-Venus, etc.). Per les seves distàncies respecte al Sol i la Terra i les dimensions respectives, el moviment de la Lluna es veu visiblement afectat (ja era clar per les observacions fetes a ull nu) pels moviments de Sol i Terra alhora. D'aquí tots els problemes observats pels predecessors de Newton. És el que en mecànica anomenem problema dels tres cossos. Si el plantejament de les equacions que governen el seu moviment és fàcil, no ho és, però, la seva solució. De fet, les equacions resultants no tenen solució analítica i, fins que no hem disposat d'ordinadors capaços de solucionar-les de forma numèrica, els astrònoms es van veure obligats a aplicar diverses simplificacions i suposicions, cada vegada més sofisticades, certament, per cercar solucions aproximades del problema. És a dir, per calcular cada vegada amb més precisió el seu moviment. En certa forma, des dels temps de Newton es va establir una cursa entre la precisió dels càlculs del seu moviment i el resultat de les observacions, cada vegada més precises degut als nous instruments d'observació i que posaven de manifest noves pertorbacions d'ordre cada vegada més petit.

A partir d'aquí no entrarem en detall i només donarem unes pinzellades als fets principals ocorreguts en la història de l'estudi del moviment de la Lluna. Per començar, entre els fets més destacats després de l'obra de Newton hem de mencionar, en primer lloc un resultat experimental pràcticament coetani als *Principia*. Edmond Halley (1656-1742) va proposar, el 1693, l'acceleració secular del moviment de la Lluna. És a dir, a partir de l'estudi de les dates i hores d'ocurrència dels eclipsis es va adonar que es feia necessari suposar que la Lluna havia accelerat el seu moviment al llarg dels segles. No en va donar, però, cap explicació teòrica. També a ell es deuen taules molt acurades de la Lluna (i planetes) que no van publicar-se fins l'any 1752, deu anys després de mort.

Poc després, James Bradley (1693-1762), amb les seves observacions precises de la posició de les estrelles, va confirmar la nutació (moviment circular de l'eix de rotació de la Terra al voltant de l'eix que apunta a l'estrella polar), deguda a l'atracció de la Lluna i va mesurar-la (per fer-ho va prendre 19 anys, 1727-1747, el cicle de la Lluna, per confirmar les mesures). El 1737 ja va informar de la troballa a Maupertuis, de l'acadèmia de ciències franceses; però els resultats definitius no van publicar-se fins el 1748. Després Jean d'Alembert (1717-1783) va estudiar el fenomen teòricament (*Recherches sur la précession des équinoxes et sur la nutation de l'axe de la terre*, 1749).

Un altre pas endavant va ser el fet per Tobias Mayer (1723-1762), que va fixar acuradament l'eix de rotació de la Lluna i també va publicar un mapa de la Lluna, el millor fins a aquell moment. Mayer va escriure també teoria de la Lluna. En aquella època (l'any 1713) el govern britànic va fixar un premi de 20 000 lliures per un mètode que permetés fixar la longitud al mar i Mayer s'hi va presentar. Per fer-ho va combinar mètodes teòrics d'Euler, de qui parlarem tot seguit, amb les observacions. Va publicar les taules de la Lluna i el Sol el 1753 i, en aquell moment, eren realment les més precises que existien. Amb aquestes taules podia observar-se la longitud al mar amb mig grau d'error, és a dir, només amb uns 50 km d'error, una millora molt substancial per l'època.

De tota manera no va ser Mayer qui va rebre tot el premi (sí una part). Aquest va ser compartit també per Leonhard Euler (1707-1783), que va rebre el premi pel seu treball teòric. L'altre part del premi va ser concedit a John Harrison pel seu cronòmetre.

Més o menys contemporàniament a aquest fet, Euler, Clairaut i d'Alembert, tres importantíssims matemàtics de l'època, van estudiar i publicar teories de la Lluna utilitzant mètodes analítics en lloc de geomètrics. Malgrat que suposaven avanços respecte als coneixements anteriors, cap va explicar l'acceleració secular.

En concret, Euler va publicar dues teories de la Lluna, la primera l'any 1753 (*Theoria Motuum Lunae*). El 1772 va publicar la segona, amb taules. Per la seva part, Clairaut, utilitzant teoria de pertorbacions, va calcular la relació de masses Terra-Lluna-Venus amb el resultat 1:1/67:2/3.

També Joseph-Louis Lagrange (1736-1813) va guanyar el 1764 un premi de l'acadèmia de ciències francesa amb un treball sobre la libració de la Lluna (no és, però, un estudi complet). En ell calculà els efectes de la no esfericitat de Terra i Lluna. També va estudiar per separat les pertorbacions periòdiques i seculars sobre el seu moviment.

El volum tercer de *Mécanique Céleste* de Pierre Simon de Laplace (1749-1827) conté un innovador tractament general de la teoria de la Lluna. Laplace integra les equacions del moviment per sèries. John Tobias Bürg (1766-1834) va calcular les seves taules de la Lluna a partir del model de Laplace i observacions de Greenwich. Van ser publicades en 1806. Poc després, John Charles Burckhardt (1773-1825) va calcular les seves taules directament a partir del model de Laplace.

Seguint endavant, l'any 1854 Hansen va calcular de forma acurada la distància de la Terra al Sol a partir de l'estudi de les irregularitats en el moviment de la Lluna degudes al Sol. Finalment, Lord Kelvin (1824-1907), 1863 i G. H. Darwin (1845-1912) són els primers a estudiar quantitativament les marees terrestres. Ja a cavall del segle XIX l'americà Newcomb publicava les millors taules del moment per al càlcul de la posició de la Lluna i Poincaré

dedicava una part important del vol. III del seu *Traité de Mécanique Céleste* a la teoria de la Lluna.

A partir de la segona meitat del segle XX els ordinadors permeten realitzar els càlculs que requerien la solució numèrica de les equacions del moviment de la Lluna i el càlcul acurat de la seva posició en qualsevol moment se simplifica en gran manera. Actualment, la distància de la Terra a la Lluna es mesura contínuament. Les missions Apol·lo i altres missions no tripulades han deixat miralls a diversos punts de la Lluna. També des de diversos punts de la Terra hi ha làsers que contínuament disparen els seus feixos de llum contra aquests miralls i en recullen el reflexos. A partir d'aquestes dades pot mesurar-se la distància de la Lluna amb una precisió que ja arriba al mil·límetre (Battat et al., 2009). Aquesta precisió permet mesurar la deformació de la Lluna per les marees o que cada any s'allunya una mitjana de 38 mm respecte a la Terra.

## Conclusió

En les pàgines precedents hem revisat el coneixement sobre la posició de la Lluna des de les primeres observacions prehistòriques, que atenyien un caire religiós, fins als problemes recents, fruit d'un desig de precisió, i que involucren llargs càlculs. Com hem vist, no ha estat un problema fàcil. Tot depèn de la precisió que es vulgui en la solució.

Certament, en aquesta revisió hem posat més èmfasi en la descripció dels orígens de l'observació i la seva evolució fins als temps de Newton que des del segle XVIII en endavant. Ens ha semblat que valia la pena deixar constància més detallada d'aquests primers esforços de la humanitat, que ens són molt més desconeguts, que dels més recents, amb una informació al respecte de molt més fàcil accés i també més propers conceptualment.

Per acabar amb una última demostració de que aquest coneixement no es debades, comentarem que fa ben poc la NASA va confirmar la presència d'aigua a la Lluna (Showstack, 2009). Per fer-ho el satèl·lit artificial LCROSS (*Lunar Crater Observation and Sensing Satellite*) havia d'impactar en una zona d'un cràter situat al pol sud de la Lluna on no hi entra mai la llum del Sol. L'impacte va produir-se a menys de 200 metres del lloc prèviament calculat i l'experiment es va realitzar correctament (a més, amb resultat positiu). Per aconseguir situar un instrument automàtic sobre la Lluna amb una precisió de 200 m cal realment, una tecnologia elaborada i un coneixement del moviment de la Lluna acurat de forma que puguin fer-se coincidir les trajectòries del satèl·lit i l'astre amb la precisió necessària. Pensem, doncs, com totes les contribucions en el seu estudi, des dels temps de Babilònia i potser abans, han anat sumant per arribar a l'estat dels coneixements actuals. A més, si per una part els problemes de l'estudi de la seva posició són ara, pràcticament, un tema històric en si mateix, per l'altre el seu coneixement segueix sent molt important perquè, donat que és l'astre més proper a la Terra, qualsevol proposta d'experiment o mètode per determinar més acuradament la posició de qualsevol altre astre té la seva primera prova en aplicar-ho a la Lluna, que ens serveix així de laboratori natural.

## Bibliografia

- Amengual, A.; Pons, G. X. i March, J. (Ed.) (2005). *Conferències de les Jornades de Commemoració i Estudi de l'eclipsi total de Sol a la Mallorca de 1905*. Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears, Núm. 13, 228 pp.
- Aristarco de Samos (2007). *Sobre los tamaños y las distancias del Sol y la Luna*, trad. de M. R. Massa-Esteve, Cádiz, Publicaciones de la Universidad de Cádiz, 158 pp.

- Battat, J. B. R., T. W. Murphy, Jr., E. G. Adelberger, B. Gillespie, C. D. Hoyle, R. J. McMillan, E. L. Michelsen, K. Nordtvedt, A. E. Orin, C. W. Stubbs, and H. E. Swanson (2009). *The Apache Point Observatory Lunar Laser-ranging Operation (APOLLO): Two Years of Millimeter-Precision Measurements of the Earth-Moon Range*. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 121, 29–40.
- Berry, A. (1961). *A Short History of Astronomy*, Dover Publications, Inc., New York, xxxi + 440 pp. (reedició de l'obra original publicada l'any 1898 per John Murray).
- Cifuentes, L. (2005). *Els observadors espanyols de l'eclipsi de Sol de 1905 a Mallorca*. A Amengual, A.; Pons, G. X.; March, J. (Ed.): Conferències de les Jornades de Commemoració i Estudi de l'eclipsi total de Sol a la Mallorca de 1905, Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears, Núm. 13, 185-206.
- Copèrnic, N. (2000). *De les revolucions dels orbes celestes / Introducció i notes de Víctor Navarro Brotons*; traducció Enrique Rodríguez Galdeano, Víctor Navarro Brotons, Institut d'Estudis Catalans, Barcelona, 61 p.
- Crowe, M. J. (2001). *Theories of the World from Antiquity to the Copernican Revolution*, Dover Publications, Inc., New York, xvii + 229 pp.
- Duke, D. (2004). *Computer Animations of Greek and Arabic Planetary Models*, Journal for the History of Astronomy, vol. 35, 225-228.
- Evans, J. (1998). *The History and Practice of Ancient Astronomy*, Oxford University Press, Oxford, 494 pp.
- Massa, M. R. (2009). *Una aproximació a l'obra d'Aristarc de Samos (ca. 310 aC – 230 aC)*, Actes d'Història de la Ciència i de la Tècnica, vol. 2 (1), 159-169.
- Neugebauer, O. (1969). *The Exact Sciences in Antiquity*, Dover Publications, Inc., New York, xvii + 240 pp.
- Newton, I. (2002). *Principios matemáticos de la filosofía natural*, RBA, Barcelona, vol. I y II.
- North, J. (1994). *The Fontana History of Astronomy and Cosmology*, Fontana Press, London, xxvii + 697 pp.
- Pedersen, O. and Pihl, M. (1974). *Early Physics and Astronomy*, McDonald and Jane's: American Elsevier, London, 413 p.
- Ptolemy's (1984). *Ptolemy's Almagest*, translated and annotated by G. J. Toomer, New York, Springer-Verlag, ix + 693 pp.
- Showstack, R. (2009). *Water on the Moon confirmed*, EOS, vol. 90, num. 47, 443.